UNIVERSITE DE PICARDIE JULES VERNE
INSTITUT UNIVERSITAIRE DE TECHNOLOGIE DE L'AISNE
DEPARTEMENT GENIE ELECTRIQUE ET INFORMATIQUE INDUSTRIELLE
13, Avenue François Mitterrand, 02880 CUFFIES
: 03 23 76 40 10 : 03 23 76 40 15 : secretariat-geii@u-picardie.fr
www.iut-aisne.fr/web/geii

Instrumentation embarquée
Etudes dynamiques des véhicules éléctriques

Nom des étudiants :
ZAGLANICZNY Dimitri
GOBINET Anthony

Projet tutoré encadré par
SIVERT Arnaud

Année scolaire 2012/2013

Sommaire

1. Introduction 2
2. Théorie des dynamiques d'un véhicule 3
   1. Force et puissance motrice 3
   2. Force accélératrice et décélératrice motrice 3
   3. Le freinage mécanique 6
3. Différents types d'instrumentation : 7
   3.1) L'instrumentation avec « Elogger » du fabriquant Eagle Tree 7
   3.2) Instrumentation Power Log 7
   3.3) L'instrumentation avec « cycle analyst » 8
4. Traitement des données du cycle analyst 8
5. Consommation et dynamique du vélo couché 12
   5.1) Puissance en fonction de la vitesse sur le vélo couche électrique 3000W/72V/40A 12
   5.2) Essai dynamique sur le vélo couche électrique 3000W/72V/40A 12
6. Consommation et dynamique du karting électrique. 15
   6.1) vitesse maximale en fonction du ratio de la transmission 15
   6.4) Estimation avec un (44 dents, 15 dents) 2*250 A 18
   6.5) Estimation avec un (44 dents, 30 dents) 2*400 A 18
7. Tricycle : 20
8. Amélioration du trike 21
9. Amélioration du karting : 22
10. Conclusion 23
11. Remerciements 23
12. Annexe 24
   Tutorial Excel : (anglais) 24

1. Introduction

L'objectif est de faire l'étude de la puissance absorbée en régime établie de vitesse, ainsi que l'étude des régimes transitoires (démarrage, freinage) de nos véhicules électriques.

Ceux-ci nous permettent de dimensionner et d'améliorer les véhicules électriques de l'IUT par rapport à d'autres et de pouvoir les comparer.

Les dynamiques permettent de connaitre la possibilité de relance d'un véhicule donc de savoir si l'on peut passer un carrefour facilement, si l'on peut doubler en toute sécurité et comparer 2 véhicules sans faire un « run » de 400m d'accélération côte à côte.
L'accélération dépend essentiellement de la force motrice, des forces résistantes, de la masse du véhicule de la commande (avec capteur et sans capteur).

Nous avons aussi effectué de nombreux petits travaux cruciaux sur ces véhicules

- Changement de potentiomètre de réglage de l'équilibreur de batterie
- Modification de câblage du karting
- Paramétrage des variateurs du karting
- Câblage du nouveau karting

Dans un premier temps, nous présenterons l'étude théorique et dynamique des véhicules électriques, puis les essais qui ont caractérisé ces véhicules électriques.

2. Théorie des dynamiques d'un véhicule

1. *Force et puissance motrice*

En régime établi de vitesse, la force motrice est égale à la force résistante. Cette force dépend de la force de roulement, de la pente de la route et des frottements de l'air. Leurs équations respectives sont :

$$F_{resistante}(N) = F_{Roulement} + F_P + F_A \quad (1.1)$$

$$F_{Roulement}(N) = k_f \cdot V \quad \text{avec V (vitesse en m/s)} \quad (1.2)$$

$$F_P(N) = M(kg) \cdot g \cdot pente(\%) \quad \text{(g: constant de gravitation 10 m/s}^2\text{)} \quad (1.3)$$

$$F_A(N) = f_a \cdot [V(Km/h) + V_{vent}]^2 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot Cx \cdot (V + V_{vent})^2 \quad (1.4)$$

Les forces de roulement (equ. 1.2) dépendent du type de pneu, type de chaussée…
Elles sont représentées par le coefficient k_f proportionnel à la vitesse.
Elles sont négligeables par rapport à la force de l'air qui dépend de la surface d'air traverser S et des turbulences donc du Cx (coefficient de trainée) (equ. 1.4) (avec ρ masse volumique de l'aire 1,2 kg/m^3.).
La force de la pente de la route dépend évidemment du pourcentage de la pente et de la masse du véhicule (equ. 1.3).

En régime établi de vitesse, la puissance résistive correspond à la force multipliée par la vitesse donc aux équations suivantes (equ. 1.5) :

$$P_{resistante}(W) = F_{resistante}(N) \cdot \frac{V(km/h)}{3{,}6} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot Cx \cdot V^3 + M \cdot g \cdot (k_f + pente) \cdot V \quad (1.5)$$

Pour modéliser la puissance résistive d'un véhicule, il est plus simple d'utiliser la vitesse en km/h avec 2 coefficients $k_{frottement}$ en W/(km/h) et k_{aero} en W/(km/h)^3 correspondant à l'équation suivante :

$$P_{resistance}(W) = k_{aero} \cdot Vit^3 + k_{frottement} \cdot Vit \quad (1.5\text{ bis})$$

Cette puissance résistive correspond à la puissance moteur électrique avec un rendement (η) d'environ 85 % à 95 %, donc correspond l'équation suivante :

$$P_{abs\,motor}(W) = P_{resistante} / \eta_{motor} \quad (1.6)$$

Maintenant que nous connaissons les forces et les puissances en régime établi, nous allons présenter quelles sont les forces nécessaires pour accélérer un véhicule ?

2. *Force accélératrice et décélératrice motrice*

Nous allons utiliser un profil de vitesse trapézoïdal (fig. 1.1) afin de déterminer la force motrice pour accélérer le véhicule. Les temps d'accélération et de décélération peuvent être paramétrés dans le contrôleur. La force motrice correspond à l'équation fondamentale de la mécanique suivante :

$$F_m = M\frac{dv}{dt} + F_{Resistant} \quad (1.7)$$

Avec M, la masse du véhicule et dv/dt l'écart de la vitesse (m/s) par rapport au temps qui correspond à l'accélération et à la dérivée de la vitesse.

Exemple :

Avec une force résistante de 30 N, une masse de 100 kg est une accélération de 2,5 m/s².
Pour atteindre une vitesse de 10 m/s en 4 secondes, alors la force motrice devra être de 280 N.

Donc, un véhicule lourd est difficile d'être relancé car il faut beaucoup de force donc beaucoup de puissance.

D'ailleurs sur la figure (1.2) à l'accélération, la force motrice est de 280 N au démarrage. Pour la décélération la force motrice devra être de –220 N, correspondant à un freinage électrique.

Lors de l'accélération si la force résistive est constante alors la dynamique de vitesse correspond à la résolution de l'équation différentielle de l'équation (1.7) :

$$v(t) = \frac{(F_m - F_{resistante})}{M} \cdot t + v(t=0) \qquad (1.8)$$

À partir de ces forces, on peut déterminer la puissance motrice (1.6) et l'énergie absorbée. Cette énergie correspond à l'équation suivante :

$$Energie(W.H) = \int \frac{Puissance_{mot}(t)}{3600} \cdot dt \qquad (1.9)$$

Cette énergie correspond évidemment à l'énergie cinétique et à l'énergie demandée par la force résistante (1.8) :

$$E(W.H) = E_{cinetique} + E_{force\ resistante} = \int F_m(t) \cdot V(t) \cdot dt \qquad (1.10)$$

Exemple:

Lors de l'accélération, l'énergie demandée est égale à :

$$E\ (W.H) = (\frac{1}{2} M \cdot v^2 + F_{resistant} \cdot \frac{v}{t_{acc}} \cdot \frac{t^2}{2}) \cdot \frac{1}{3600} \qquad (1.11)$$

On peut remarquer que l'énergie récupérée au freinage correspond presque à l'énergie de l'accélération évidement à la force résistante près.

Lorsque la vitesse est constante, donc avec une puissance constante l'énergie correspond à l'équation suivante :

$$E\ (W.H) = Puissance_{moyenne} \cdot t\ /(3600)$$

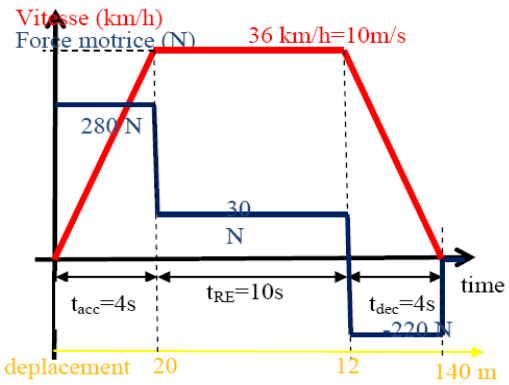


Fig 1.1 Vitesse et force motrice résultante en fonction du temps
(M = 100 kg, $F_{Resistante}$ = 30 N)

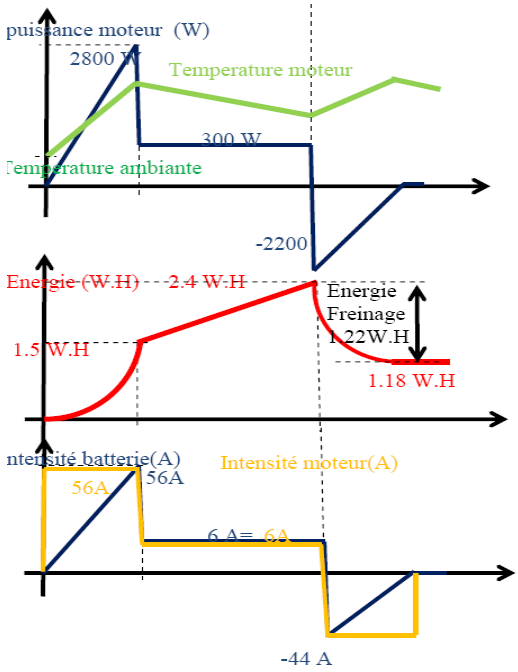


Fig. 1.2 Force, puissance, énergie et intensité en fonction d'un profil trapézoïdal de vitesse avec un accumulateur de 50 V

Le contrôleur commande la vitesse du moteur par l'intermédiaire d'une poignée ou une pédale accélératrice.
Les relations électromécaniques du moteur sont :

$$v(m\cdot s^{-1}) = U_m / k = \alpha . U_{Batt} / k \quad (1.12)$$

$$F_m(N) = I_m \cdot k \cdot \eta_{moteur} \quad (1.13)$$

Avec U_m et I_m tension et courant moteur, η rendement.

Le coefficient α varie de 0 à 100 %, il correspond à la modulation de largeur d'impulsion fournie par le contrôleur pour faire varier la tension u_m donc la vitesse.

Le terme k en (N/A) ou ($V/m\cdot s^{-1}$) dépend de la construction du moteur (nombre de spires, du champ magnétique des aimants…).
Dans le cas de la figure 1.1, la vitesse maximale est atteinte pour 36 km/h avec une tension de batterie de 50 V.
Par conséquent, à partir de l'équation (1.12), il est très facile de déterminer le coefficient *k* qui est de 5.

Remarque, plus le terme k est petit et plus le moteur ira vite pour une certaine valeur de tension de batterie mais la force motrice sera plus faible lors du démarrage pour un courant limité.
La force motrice d'un moteur électrique peut être très importante au démarrage donc celui-ci n'a pas besoin de boîte de vitesse comme pour le moteur thermique.

Dans un souci de simplicité, le rendement du moteur électrique est considéré comme constant en fonction de la vitesse. La puissance électrique absorbée par le moteur est égale à :

$$P_{abs\ moteur}(W) = U_{Batt}(V) \bullet \alpha \bullet I_m(A) = P_{resis\ tan\ te} / \eta_{moteur} \quad (1.14)$$

Le rendement du moteur est provoqué par des pertes mécaniques mais aussi par un échauffement du moteur créé par le courant dans les bobinages.

Cet échauffement peut être fatal pour le moteur si la température des bobinages dépasse 100°C.

Nous considérons que le rendement du contrôleur est parfait (rendement constant approximatif de 95 % donc négligé).
Par conséquent, la puissance électrique des batteries correspond à l'équation suivante :

$$P_{batt}(W) = U_{batt}(V) \bullet I_{Batt}(A) = P_{abs\ moteur} / \eta_{controleur} \qquad (1.15)$$

À partir des équations (1.12) et (1.13), le courant des batteries correspond donc à l'équation suivante :

$$I_{Batt}(A) = \alpha \cdot I_m \qquad (1.16)$$

3. *Le freinage mécanique*

La décélération mécanique permet de tester le freinage d'urgence (mécanique ou hydraulique). Or il est spécifié dans le *Code de la route*, la distance d'arrêt doit être égale au chiffre de la dizaine du carré de la vitesse.
Exemple à 50 km/h, la distance d'arrêt est de 25 m et à 100km/h 100m. En effet, la législation impose une décélération de 4.5m/s^2 et doit maintenir le véhicule avec une pente de 18%. Donc, le frein doit être inferieur à l'équation suivante :

$$F_{frein\ reglementaire} < Masse \cdot deceleration_{mini}$$

Avec l'équation suivante, la force de freinage dynamique permet de comparer l'efficacité des freins avec l'équation suivante :

$$F_{frein} \approx \frac{Masse}{2 \cdot Distance} \cdot \frac{Vit^2}{3.6^2} \qquad (1.17)$$

Avec Vit en km/h, et la distance de freinage en mètre. Dans cette équation, la force résistante sera négligée

La puissance max et moyenne pendant la décélération de freinage perdu en chaleur dans les plaquettes et les disques correspondent aux équations suivantes :

$$P_{max} = F_{frein} \cdot Vit_{max} / 3.6 \qquad P_{moyenne} = F_{frein} \cdot Vit_{max} / (3.6 \cdot 2) \qquad (1.18)$$

Il faut évidement dissipé cette chaleur pour ne pas que les disques de freins bleuissent.

Le temps d'arrêt est théoriquement proportionnel à la vitesse et correspond à l'équation suivante :

$$t_{arret} = Vit_{max} \cdot (M \cdot F_{frein}) \qquad (1.19)$$

Remarques :

Le pilotage de n'importe quel véhicule passe par l'anticipation du freinage en fonction de la vitesse. Donc, il est primordial de connaitre la distance de sécurité entre votre véhicule et celui qui est devant vous.
Il n'est pas possible de tester les freins avec une certaine pente à l'arrêt. En effet, le temps et la distance de freinage dépend des pneus. De plus, la force de freinage est différente en statique et en dynamique.
Il est très facile d'aller à une certaine vitesse et de mesurer la distance de freinage, pour connaitre comment réagit son véhicule.
Sur un vélo, le freinage est de 70% à l'avant et 30% à l'arrière
Sur un tricycle avec deux roues avant, le frein arrière n'est pas très utile

3.Différents types d'instrumentation :

Il existe plein d'instrumentation. Nous allons détailler trois types d'instrumentations pour pouvoir les comparer (Elogger, cycle analyst, Road station)

3.1) L'instrumentation avec « Elogger » du fabriquant Eagle Tree

Nous avons testé en premier temps le « Elogger » qui permet de faire l'instrumentation et l'enregistrement de vitesse, température, tension, courant, puissance, GPS, vidéo…

Le coût de cette instrumentation est relativement important 75 €, et il faut rajouter le module afficheur de 40 €, le module vitesse 10 €, le module température 10 €, le module GPS 70 €.

Mais cette instrumentation à une fréquence d'échantillonnage importante 20 Hz et peut être couplé via OSD (*On-Screen Display*), pour transférer par onde radio toutes ces informations sur une télé.

On peut retrouver sur le net toutes les documentations de ces modules sur eagletreesystems.
Il nous a été difficile de paramétrer cette instrumentation qui est relativement compliqué.

3.2) Instrumentation Power Log

Nous avons aussi également utilisé un powerlog, d'une valeur de 55€, que l'on peut voir sur la figure suivante, mais le problème était que le tachymètre qui ne fonctionnait pas (problème de distance entre l'émetteur et le récepteur).

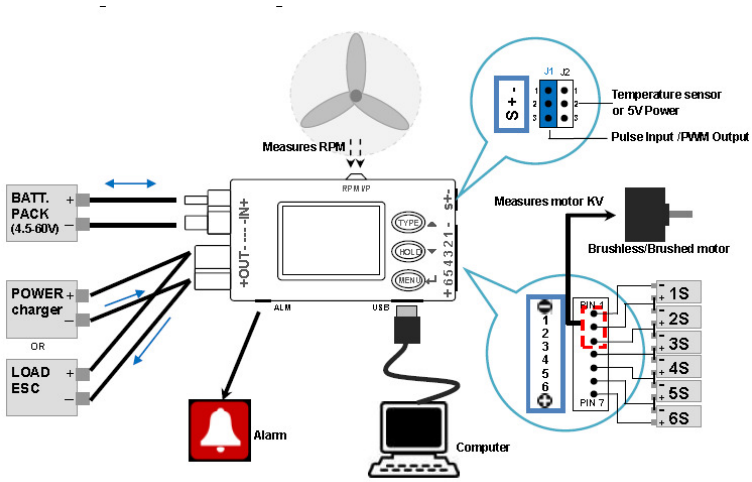


Fig 3.2 Powerlog power monitor et logger Resistance shunt 0,2 mΩ (40 A continu, 130 max)

3.3) L'instrumentation avec « cycle analyst »

« Cycle analyst » http://ebike.ca/drainbrain.shtml propose une bonne instrumentation à un prix honorable 150 euros.

Cet appareil mesure vitesse, tension, courant de 45 A à 600 A, capacité énergétique, régénération, puissance…

Il existe un module externe appelé Datalogger de 70 € qui permet de mémoriser, toutes les données sur une carte micro SD avec une fréquence d'échantillonnage de 5 Hertz. Nous avons dû réaliser un programme pour traiter les données car il n'existait pas. D'ailleurs, le fabriquant des cycle analyst a mis le tutorial que l'on a effectué sur son site web.

Fig 3.2 Kit d'un cycle analyst.

Nous avons donc principalement utilisé le cycle analyst car il est déjà installé sur tous nos véhicules

Ce datalogger permet d'enregistrer (A.H, Volt, Ampère, speed, distance) donc de connaitre les dynamiques du véhicule. Il enregistre ces données dans un fichier texte. Avec ces données, il est possible d'avoir la puissance, les accélérations, la consommation en Watt/H, la décélération (teste des freins)...
Mais, il faut un logiciel pour traiter l'information et dessiner les courbes en fonction du temps

4.Traitement des données du cycle analyst

Il y a plein de logiciels qui permettent de tracer les courbes pour connaitre les dynamiques de votre véhicule. On peut citer par exemple (mathcad, matlab et labview)
Nous allons utiliser tout simplement le tableur Excel car tout le monde à ce logiciel (Fig 4.1).

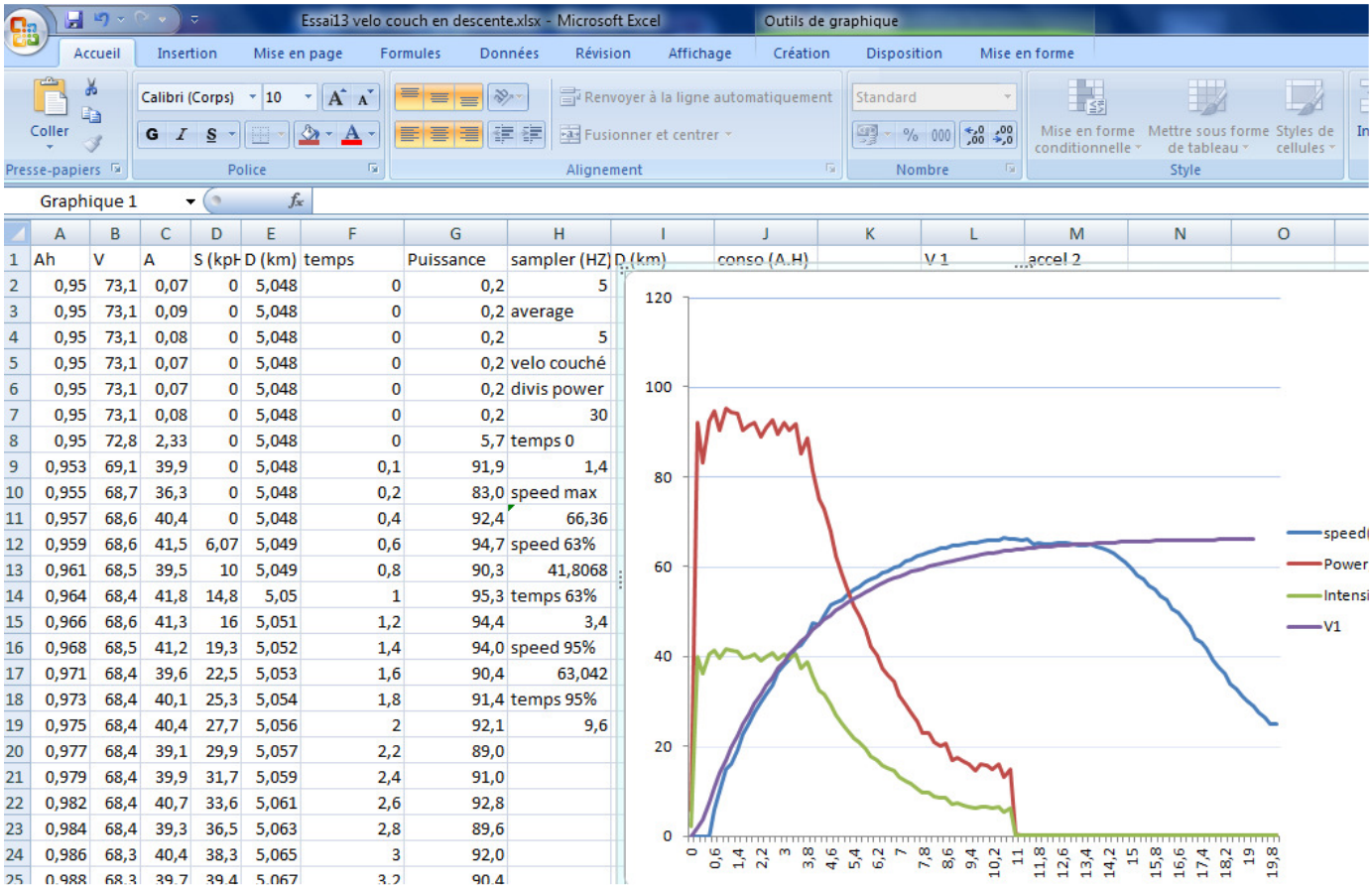
Pour les enregistrements, il ne faut pas utiliser le filtrage 'average' du cycle analyst pour faire les courbes car cette fonction fait la valeur moyenne de plusieurs données. Par contre pour l'écran numérique, il faudra l'utiliser pour filtrer les données.

Tache à faire pour tracer la courbe :

- Données/ à partir d'un fichier texte/ choisir votre fichier et importer. (ou bien faire un copier et coller)
- Excel travaille avec des virgules et pas des points. Donc, sélectionner les données (ctrl+h) et remplacer les points par des virgules.
- Il n'y a pas le temps, mais chaque échantillon est donné par le cycle analyst (sampler).

Si sampler est à 1Hz, donc chaque échantillon est à 1seconde.
Si sampler est à 5Hz, donc chaque échantillon est à 0.2 seconde.

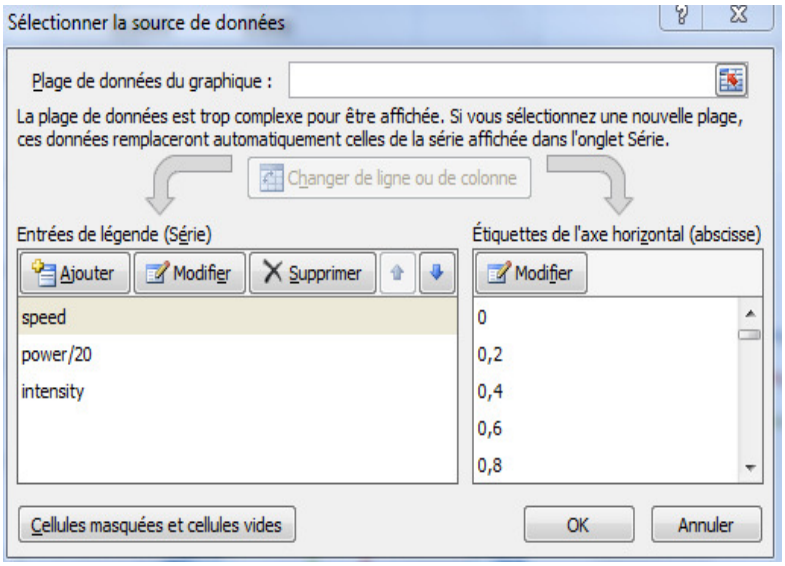
- Une colonne temps est créer avec la formule suivante =(LIGNE(B2)-2)/($H$2). Il n'y a qu'a faire un copier-coller pour chaque ligne.
- Si vous avez oublié de remettre à zéro le cycle analyst et si vous voulez vérifier votre sampler, la colonne consommation peut être égale aux formules suivantes : =A2-$A$2 ou =((C2/$H$2)/3600)+j1



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Ah	V	A	S (kpH	D (km)	temps	Puissance	sampler (HZ)	D (km)	conso (A.H)		V 1	accel 2		
2	0,95	73,1	0,07	0	5,048	0	0,2	5							
3	0,95	73,1	0,09	0	5,048	0	0,2	average							
4	0,95	73,1	0,08	0	5,048	0	0,2	5							
5	0,95	73,1	0,07	0	5,048	0	0,2	velo couché							
6	0,95	73,1	0,07	0	5,048	0	0,2	divis power							
7	0,95	73,1	0,08	0	5,048	0	0,2	30							
8	0,95	72,8	2,33	0	5,048	0	5,7	temps 0							
9	0,953	69,1	39,9	0	5,048	0,1	91,9	1,4							
10	0,955	68,7	36,3	0	5,048	0,2	83,0	speed max							
11	0,957	68,6	40,4	0	5,048	0,4	92,4	66,36							
12	0,959	68,6	41,5	6,07	5,049	0,6	94,7	speed 63%							
13	0,961	68,5	39,5	10	5,049	0,8	90,3	41,8068							
14	0,964	68,4	41,8	14,8	5,05	1	95,3	temps 63%							
15	0,966	68,6	41,3	16	5,051	1,2	94,4	3,4							
16	0,968	68,5	41,2	19,3	5,052	1,4	94,0	speed 95%							
17	0,971	68,4	39,6	22,5	5,053	1,6	90,4	63,042							
18	0,973	68,4	40,1	25,3	5,054	1,8	91,4	temps 95%							
19	0,975	68,4	40,4	27,7	5,056	2	92,1	9,6							
20	0,977	68,4	39,1	29,9	5,057	2,2	89,0								
21	0,979	68,4	39,9	31,7	5,059	2,4	91,0								
22	0,982	68,4	40,7	33,6	5,061	2,6	92,8								
23	0,984	68,4	39,3	36,5	5,063	2,8	89,6								
24	0,986	68,3	40,4	38,3	5,065	3	92,0								
25	0,988	68,3	39,7	39,4	5,067	3,2	90,4								

Fig 12.1 : Donnée d'une acceleration d'un vehicule

- Pour créer la courbe clic sur « insertion graphique ligne 2D »
- Clic droit de la souris, sur le graphique, « sélectionner les données » (Fig 12.2)
- Faire ajouter une courbe, donner lui un nom et sélectionner la colonne à afficher comme pour la vitesse de la figure 12.3.
- Etant donné que le variateur est à puissance constante, il est intéressant de tracer la puissance et la vitesse en fonction du temps. Or, la puissance n'est pas fournie par les données du cycle analyst. Mais, il est possible de la connaitre avec la formule suivante =(B2*C2)/20. La puissance au démarrage est de 2000W=50V*40A. Nous avons choisis de diviser par 20 pour avoir une valeur relative à 100%.



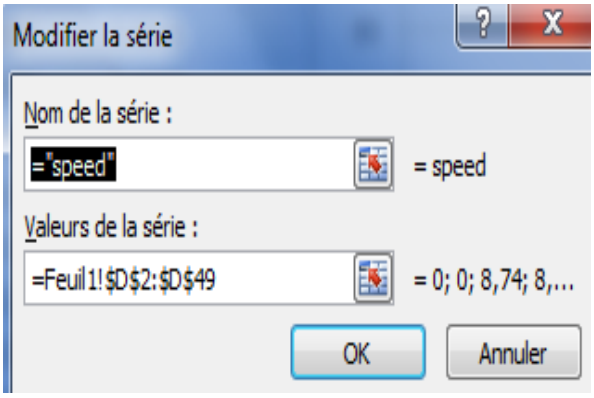


Fig 12.3 : Ajouter ou modifier la série à afficher.

Fig 12.2 : fichier courbes

Avec l'outil de capture, il est possible d'afficher seulement la courbe dans votre dossier.
Normalement en automatique, Le temps de réponse est le temps d'un système atteignant 95% de son régime établi et le temps de montée entre 10% et 90% du régime établi. Mais, en automatique, il y a un compromis entre la stabilité et la rapidité.
Pour un véhicule, le temps d'accélération peut être considéré lorsque le variateur impose sa puissance et non lorsque la puissance résistive comme on peut le voir sur la figure suivante.
Dans le cas présent sans pédalage sur le plat. il faut 4 secondes pour que la puissance diminue. Pour ces 4 secondes, la vitesse a atteints 47 km/h puis 10 secondes pour atteindre 66 km/h.

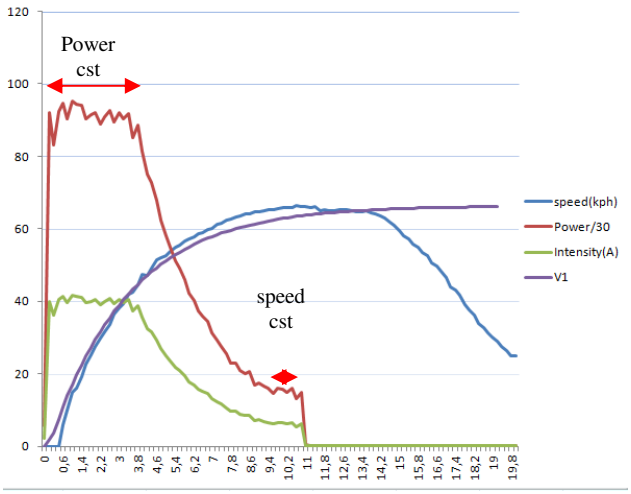


Fig 12.4 : vitesse, accélération et puissance en fonction du temps avec 100% de la poignée d'accélération du vélo couché (30 kg de vélo et 80 kg de cycliste.

Sur la figure 12.4, Il y a un léger temps de retard de la mesure de la vitesse, car il faut attendre le tour d'une roue pour avoir une mesure de la vitesse
Même si l'équation différentielle n'est pas linéaire. On peut identifier la vitesse comme un premier ordre de constante de temps de 3.4s correspondant au temps du régime finale à 63%. C'est la courbe V1 de la figure 12.4 .

- A partir de la figure 12.4, l'accélération peut être donnée par l'écart de la vitesse en fonction du temps.

Il y a plusieurs méthodes pour déterminer l'accélération la plus simple :
Méthodes naïves (Euler) =(D3-D2)*$H$2
Méthode des différences centrales =((D4-(0*D3)-D2)*$H$2)/2

Pour faire un bilan des caractéristiques dynamiques, le tableau suivant peut être donné :

	démarrage				décélération					
type	à 63% (1)	Temps à 95% (2)	Vitesse max (3)	$t_{power\ cst}$ (4)	t_{arret} libre (5)	Temps à 36% (6)	t_{arret} mini (7)	D_{Arret} Mini (8)	t_{Arret} à 45km/h (9)	D_{Arret} à 45km/h (10)
Vélo couché	3.4 s	9.6 s	66 km/h	3.8 s	60s	35 s	4.2s	46m	3.4s	21m

(1) Temps de réponse pour que la vitesse atteigne 63% du régime finale
(2) Temps de réponse pour que la vitesse atteigne 95% du régime finale
(3) Vitesse maximale
(4) Temps puissance maximale
(5) Temps pour que le véhicule s'arrête en roue libre
(6) Temps de réponse pour que la vitesse atteigne 36% en roue libre à partir de la vitesse maximale
(7) Temps d'arrêt minimal à partir de la vitesse maximale (freinage maximum)
(8) Distance d'arrêt minimale à partir de la vitesse maximale
(9) Temps d'arrêt minimal à partir de 45 km/h
(10) Distance d'arrêt minimale à partir de 45 km/h

Temps de mémorisation avec le datalogger :
Sachant que chaque variable est sur 6 octets et qu'il y a 5 variables à enregistrer.
Avec un sampler de 5, il y aura 150 octet par seconde, donc 9Koctet pour une minute, et 540 koctet en 1 heure. Donc avec une carte SD de 1GB, le temps de mémorisation est de 77000 jours. Dingue !

⇨ Voir annexe 12. , tutorial Excel en anglais

5. Consommation et dynamique du vélo couché

Nous allons voir les différents essais réalisé sur tout d'abord sur le vélo couché. Nous allons présenter la puissance en fonction de la vitesse qui correspond à sa consommation. Nous en déduirons les coefficients mécaniques (aérodynamique et frottement)
Puis, nous présenterons les caractéristiques dynamiques.
Tous nos essais ont été effectués sur route sèche et goudronné.

5.1) Puissance en fonction de la vitesse sur le vélo couche électrique 3000W/72V/40A

On peut voir sur la figure suivante la consommation du vélo droit et du vélo couché en fonction de la vitesse et pour différentes pente. Ainsi que les différentes valeurs des coefficients mécaniques que nous avons déterminés.

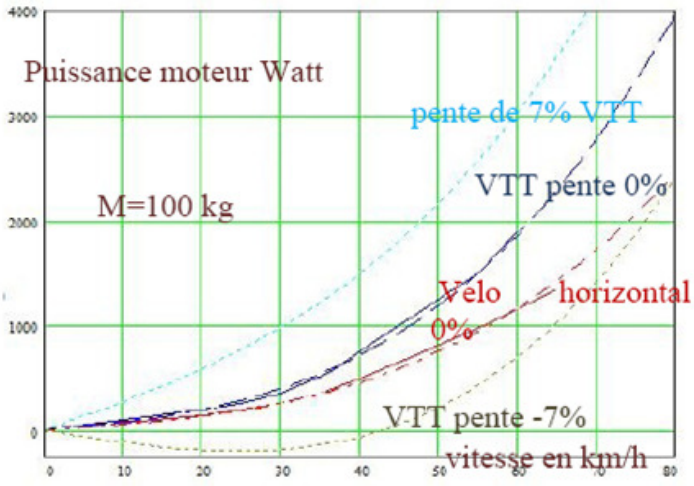


Fig. 5.1 – Puissance demandée au moteur en fonction de la vitesse et pente.

Sur un VTT, les coefficients sont d'environs :

$$[k_{aero}=0{,}0066(W/km.h^{-1})^3,\ k_f=0{,}005\ (W/km.h^{-1})]$$

Sur un vélo horizontal non caréné, les coefficients sont :

$$[k_{aero}=0{,}004\ (W/km.h^{-1})^3,\ k_f=0{,}006\ W/km.h^{-1}]$$

Sur un velomobile de marque « Quest », les coefficients sont :

$$[k_{aero}=0{,}002\ (W/km.h^{-1})^3,\ k_f=0{,}008\ W/km.h^{-1}]$$

Nous allons passer à la dynamique du vélo maintenant.

5.2) Essai dynamique sur le vélo couche électrique 3000W/72V/40A

Au démarrage du vélo, On peut voir sur la courbe suivante l'intensité du courant moteur limité à 30 A car le moteur demande une puissance constante de démarrage de 3KW.
Lorsque le courant de la batterie est limité, le vélo fonctionne à puissance moteur constant $P_{m\ limit}$. Pour connaître les dynamiques du vélo, il faut donc résoudre l'équation différentielle (6.1). En négligeant la force résistante, la résolution de l'équation (6.2) peut être obtenue. Sinon, il faut simuler l'équation

$$\frac{P_{m\,limit}}{V}=M\frac{dV}{dt}+F_{Resistant} \quad (6.1)$$

$$V(m/s) = \sqrt{\frac{2 \cdot P_{m\,limit}}{M}} \cdot t^{1/2} \quad (6.2)$$

On peut remarquer quand la vitesse atteint 42km/h, pour 63% de la vitesse maximum, pour un temps de 5.8s puis le pic de puissance commence à diminuer.

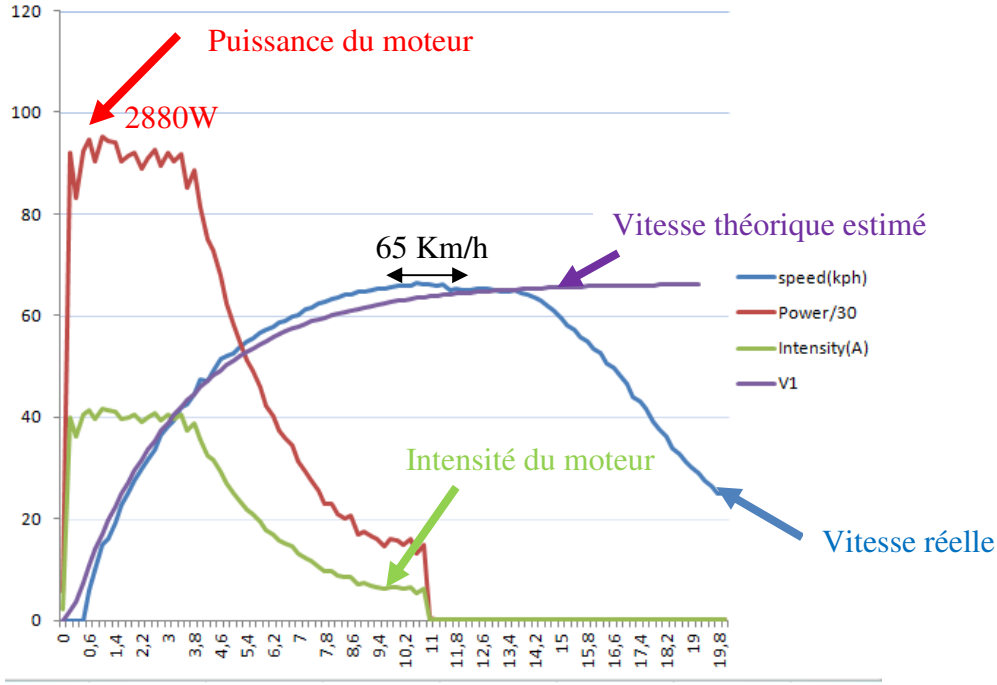


Fig 5.2 : Courbe d'accélération du vélo couché (Sans pédaler) :

Pour atteindre les 95% de la vitesse max, le moteur va mettre un certain temps supplémentaire (D'après la courbe environ 10 secondes). Ainsi, la puissance va diminuer jusqu'à 39% de la puissance demandée au démarrage).

Pour faciliter les calculs, nous avons utilisé l'identification du premier ordre de Broida malgré que l'équation différentielle soit non linéaire. Sur la figure 6.2, la courbe estimée est très proche de la courbe réelle qui permet de valider cette identification.

Pour faire un bilan des caractéristiques dynamiques, le tableau suivant peut être donné :

	démarrage				décélération					
type	à 63% (1)	Temps à 95% (2)	Vitesse max (3)	$t_{power\ cst}$ (4)	t_{arret} libre (5)	Temps à 36% (6)	t_{arret} mini (7)	D_{Arret} Mini (8)	t_{Arret} à 45km/h (9)	D_{Arret} à 45km/h (10)
Vélo couché	3.4 s	9.6 s	66 km/h	3.8 s	60s	35 s	4.2s	46m	3.4s	21m

5.3) Freinage du vélo couché

A partir du tableau précèdent, la décélération de notre véhicule est linaire et produit une décélération de 4.4m/s^2. Normalement, il faut 39m pour s'arrêter mais à cause de la perte d'adhérence sur la chaussé il faut freiner souvent en 2 fois, et il faut 46m pour s'arrêter à 66 km/h.
A partir des équations (1.17) et (1.18) Dans le cas présent, la force de freinage est de -480N, avec une puissance max de 52KW et moyenne de 26 kW pendant 4.6s.

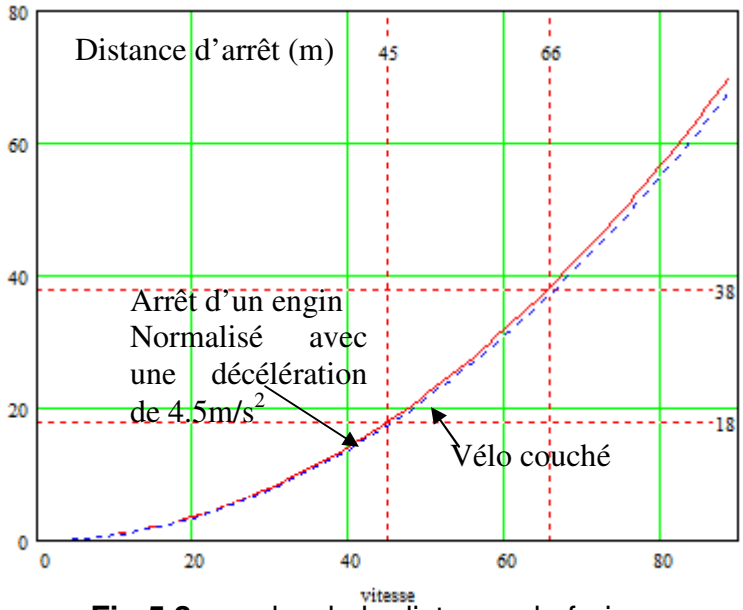


Fig 5.3 courbe de la distance de freinage en fonction de la vitesse

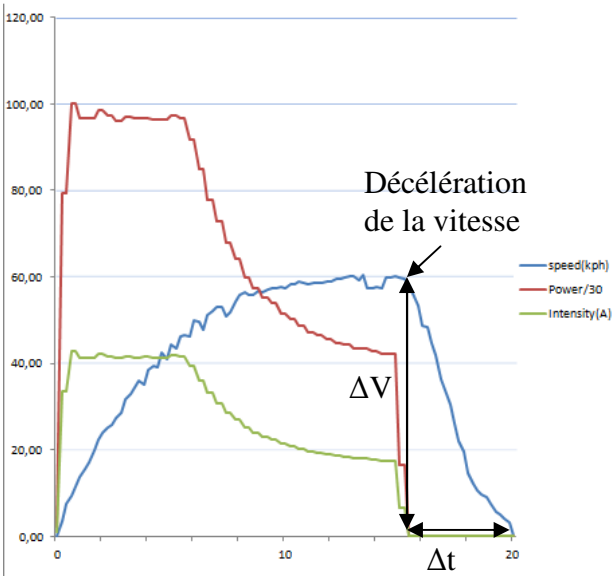


Fig 5.4 Dynamique du véhicule en fonction du temps

A partir de la figure précédente, on peut conclure que les freins de notre vélo couché est bon pour une homologation d'après le code de la route.

6. Consommation et dynamique du karting électrique.

Pour faire l'essai en régime établi, il faut que la vitesse soit constante. Or, le karting a tellement d'accélération que le moindre mouvement sur la pédale provoque des accélérations, c'est pourquoi il nous a été difficile d'avoir des courbes car il a fallu faire de nombreux essais en paramétrant à chaque fois le karting. La consommation, la vitesse max et les dynamique dépendent du ratio de la transmission.

6.1) vitesse maximale en fonction du ratio de la transmission

La vitesse maximale est donnée par le ratio des pignons correspondant à l'équation suivante :

$$V_{\max} = \frac{N * 2 * \pi}{60} * \frac{D_m}{D_a} * R_{roue} \quad (7.1)$$

Exemple :

Dm est le nombre de dent pignon au moteur **30** et Da est le nombre de dent du pignon sur l'arbre roue **44,** le rayon de la roue est de 0.125m. Sachant que la vitesse en tr/mn du moteur correspond à l'équation pour une tension de 72V et une constante de vitesse Kv= 53 $tr.mn^{-1}/V$ suivante :

$Nmax=72*53=3816 \ \ tr.mn^{-1}$

$Vmax = 3816 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 30 \cdot 3.6 \cdot 0.125/(60 \cdot 44) = 124(km/h)$

Il y a 1.1KW de perte à vide, donc les pertes à la transmission est de 15 A, donc le couple de charge ramené au moteur est 2.5 N.m => négligeable.

6.2) Consommation du karting avec le ratio Dm/Da (30/44)

On peut voir sur les figures suivantes la puissance en fonction de la vitesse demandé par le karting :

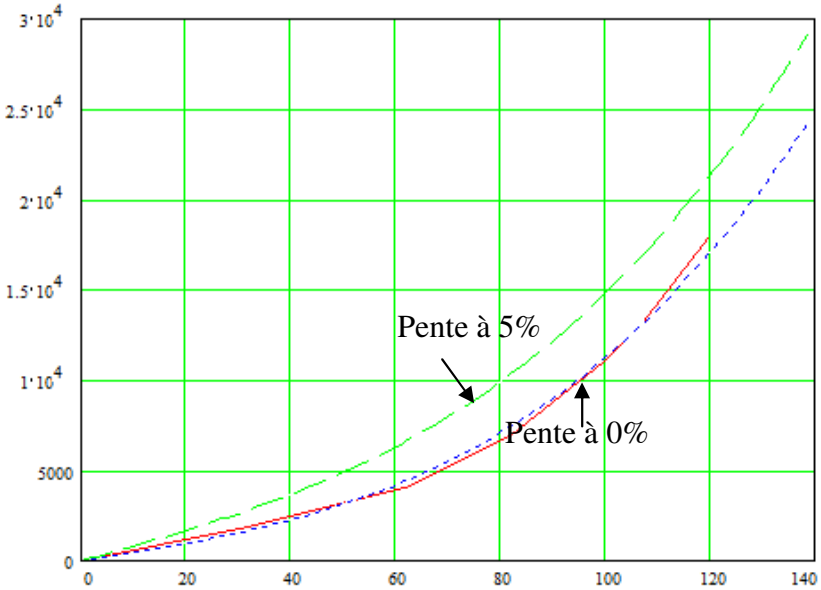


Fig. 6.1 puissance motrice en fonction de la vitesse
[M=250 kg, k_{aero}=0,0067 $(W/km.h^{-1})^3$, k_f = 45 $(W/km.h^{-1})$]

Via la figure (6.1) de la puissance en fonction de la vitesse, le frottement de l'air fa au niveau des roues est identifié à partir de l'équation suivante :

$$P_{resis\,\tan te}(W) = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot Cx \cdot V^3 = f_a \cdot V(m/s)^3$$

Cette valeur de frottement de l'air (f_a) permet d'estimer la puissance pour une vitesse de 150 km/h ou 200 km/h et donc choisir les pignons maximaux que l'on peut mettre sur l'arbre moteur.

6.3) Dynamique du karting

Pour déterminer les constantes de temps du karting, nous faisons un essai avec l'accélération à fond puis nous laissons le karting en roue libre que l'on peut voir sur la figure suivante.

On peut voir le courant de pointe à (250 A*2) à cause des 2 moteurs, puis le courant en régime établi de vitesse est seulement de 250A. Le courant de pointe ne dure que quelques secondes.

Lorsque le courant moteur est constant, on peut considérer que la vitesse augmente de façon linéaire comme on peut le voir sur les 2 figures suivantes avec une accélération de 6.5s pour atteindre 70 km/h (19.5 m/s) donc une accélération de 2.78 m/s^2.

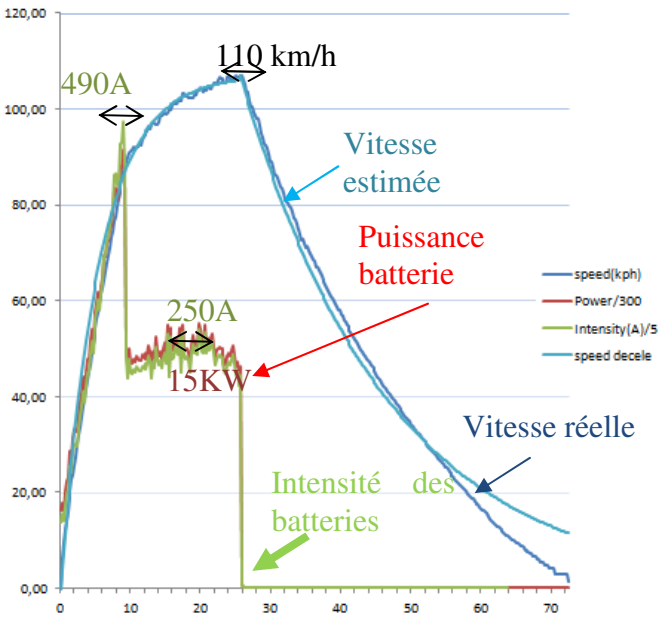


Fig 6.2 : Démarrage à 100% et arrêt en roue libre
Fichier karting 73.

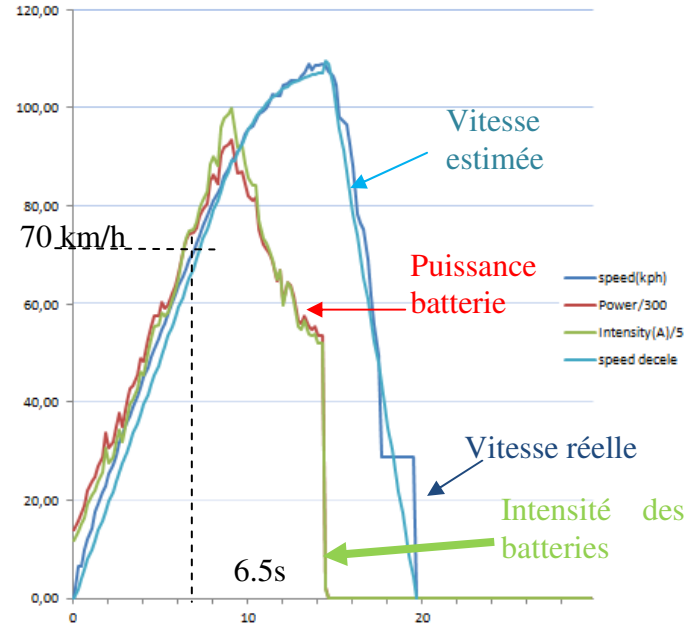


Fig 6.3 : Démarrage à 100 % et arrêt frein
Fichier karting 75.

La **distance d'arrêt** dépend des freins, des pneus, de la chaussée…

On peut voir que la décélération de notre véhicule est linaire et produit une décélération de 6.6m/s^2 ce qui n'est pas trop mauvais. Sachant qu'un pilote de 80kg a son haut de corps qui fait 50 kg, donc, il devra avoir 33kg de force dans ces bras pour ne pas avoir son corps projeté sur le volant lors de cette décélération.

Malgré un bon freinage, il faut 80m pour s'arrêter à 110 km/h. Sur la figure 6.3, il y a plat sur la décélération, car le karting a eu une perte d'adhérence, donc le pilote a relâché le frein pour ré-appuyer très fort.

Le bilan du karting a donc les caractéristiques suivantes :

	démarrage				décélération				
type	à 63% (1)	Temps à 95% (2)	Vitesse max (3)	$t_{torque\ cst}$ (4)	t_{arret} libre(5)	Temps à 36% (6)	t_{arret} et Dist mini à 110 km/h	t_{Arret} à 45km/h (9)	D_{Arret} à 45km/h (10)
Karting ratio	6.5 s 71m	11.4 s 188m	110 km/h	11 s	45 s	21 s	4.6 s 70m	? s	?m

On aurait pu retrouver la valeur du temps de démarrage « 6.5s » pour atteindre 70 km/h en négligeant la force résistive. Grâce à ce calcul, il sera possible d'estimer le temps de démarrage pour différents courants de programmation du variateur et pour différentes valeurs de ratio des pignons moteur et arbre de roue.

A partir de l'équation suivante on peut retrouver le temps d'accélération théorique.

$$tacc = \frac{J\cdot(N-N_{mini})\cdot 2\cdot\pi}{(C_m - C_R)\cdot 60} = \frac{1.9\cdot(2180-0)\cdot 2\cdot\pi}{60\cdot(80-2.5)} = 5.6s \text{ théorique}$$

En effet, la masse du karting avec le pilote est de 180kg+80kg donc l'inertie ramenée sur l'arbre moteur est donnée par l'équation suivante :

$$J = M\cdot(R_{roue}\cdot D_m / D_a)^2 = (180+80)\cdot(0.125\cdot 30/44)^2 = 1.9 kg.m^2$$

Le couple moteur est de 80N.m pour 500A car la constante de couple de notre moteur est de 0.17 N.m/A. Le couple de charge correspond aux pertes mécaniques. Or à vide le courant est de 15A, ce qui donne un couple de charge de 2.5 N.m. évidement le couple de charge est négligeable devant le couple moteur.

La vitesse du moteur pour atteindre 70km/h (63% de 110km/h) correspond à l'équation suivante

$$N_{moteur}(RPM) = V(km/h)\cdot 60\cdot D_a/(D_m\cdot 2\cdot\pi\cdot R_{roue}\cdot 3.6)$$

$$2180(tr/mn) = 70(km/h)\cdot 60\cdot 44/(30\cdot 2\cdot\pi\cdot 0.125\cdot 3.6)$$

On peut remarquer qu'il y a une différence de 1 seconde entre la valeur du temps d'accélération théorique et mesuré.

6.4) Estimation avec un (44 dents, 15 dents) 2*250 A

Par manque de temps et à cause du mauvais temps, nous n'avons pas réussi à réaliser ces tests avec cette configuration

6.5) Estimation avec un (44 dents, 30 dents) 2*400 A

Grâce à ces valeurs on peut estimer le temps d'accélération pour des différents courants de programmation du variateur et pour différentes valeurs de ratio des pignons.

Exemple en théorie :

Théorie					Mesure	
Umax I_{max}	réduction	Inertie $kg.m^2$	V_{max} (km/h)	t(s)63% Vmax	V_{max} (km/h)	t(s)63% Vmax
72V 250A	44/30	1.9	110	70km/h **11.2s**		
72V 500A	44/30	1.9	110	70km/h **5.5s**	110	6.8s
72V 1000A	44/30	1.9	110	70km/h **2.7s**		
72V 500A	44/15		56	35 km/h 1.36s		

Pour vérifier nos estimations, nous avons fait 2 courbes avec freinage :

En attente **Fig 6.4** ratio (44dents, 30dents) 2*125A	En attente **Fig 6.5** ratio (44 dents, 15 dents) 2*250 A

Nos batteries sont prévues pour sortir 500A et non 1000A,
Il serait possible de leur faire sortir 1000A car le câblage le permet, mais est ce que la durée de vie des batteries ne sera pas diminué ?

Pour conclure, nous n'avons pas réussis à concrétiser tous nos tests, ceci dû en grande partie aux conditions météorologiques assez défavorables durant les mois d'hiver.

Cependant pendant ce temps-là nous avons réalisé différentes réalisations et améliorations sur les kartings.

6.6) Freinage du karting

Sur la figure 6.3, la décélération de notre véhicule est linaire et produit une décélération de 6.6m/s^2. Sachant qu'un pilote de 80kg a son haut de corps qui fait 50 kg, donc, il devra avoir 33kg de force dans ces bras pour ne pas avoir son corps projeté sur le volant lors de cette décélération.
Malgré un bon freinage, il faut 80m pour s'arrêter à 110 km/h. Sur la figure 6.3, il y a plat sur la décélération, car le karting a eut une perte d'adhérence, donc le pilote a relâché le frein pour ré-appuyer très fort.

A partir des équations (1.17) et (1.18) Dans le cas présent, la force de freinage est de -1727N, avec une puissance max de 52KW et moyenne de 26 kW pendant 4.6s.

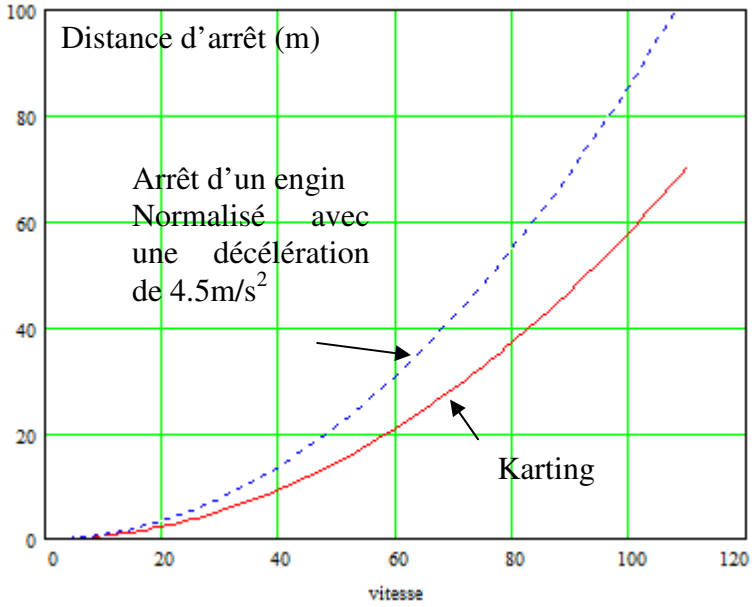


Fig 6.6 courbe de la distance de freinage en fonction de la vitesse

7.Tricycle :

Le tricycle consomme comme le vélo droit.

De plus le tricycle fait 40 kg.

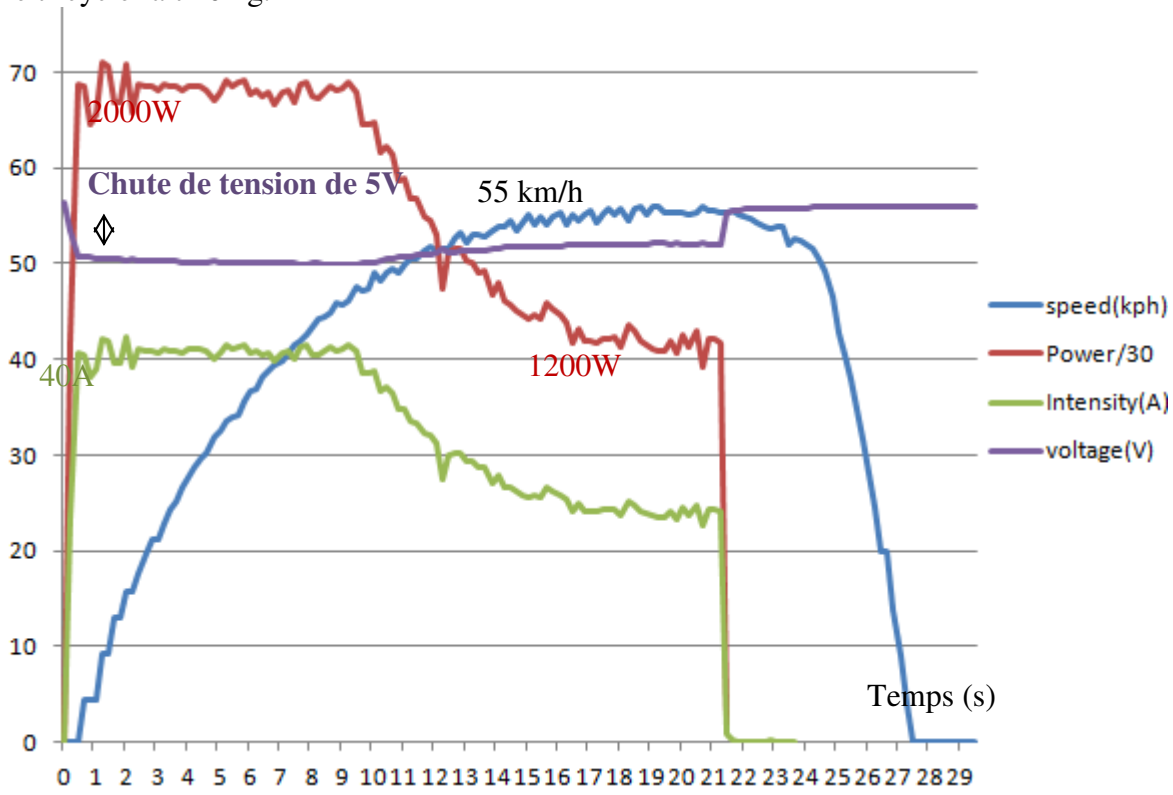


Fig 7.1 : Démarrage à 100% et arrêt en freinant de 50km/h à 0 en 3s (Décélération en 4.6m/s^2)

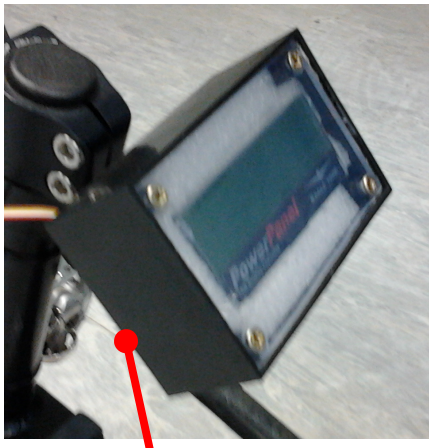
Pour faire un bilan des caractéristiques dynamiques, le tableau suivant peut être donné :

	démarrage				décélération					
type	à 63% (1)	Temps à 95% (2)	Vitesse max (3)	$t_{power\ cst}$ (4)	t_{arret} libre (5)	Temps à 36% (6)	t_{arret} mini (7)	D_{Arret} Mini (8)	t_{Arret} à 45km/h (9)	D_{Arret} à 45km/h (10)
trike	5 s	12 s	55 km/h	9 s	60s	35 s	80s	520m	2.6s	18m

7.1 Freinage du trike

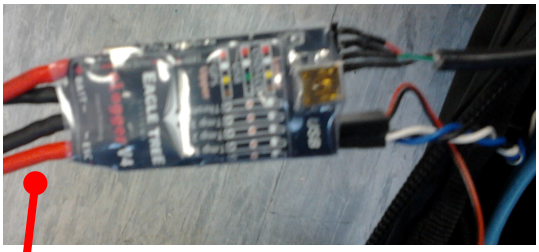
Sur la figure 7.1, on peut voir que la décélération du trike est aussi linaire et et elle est d'environ 4.6m/s^2.
Le pilote du trike faisait 80kg et la masse du trike fait 40kg. Donc à partir des équations (1.17) et (1.18) Dans le cas présent, la force de freinage est de -555N, avec une puissance max de 8.4KW et moyenne de 4.2kW pendant 3.3s.

8.Amélioration du trike



Ecran powerpanel : Eagle Tree
Nous avons aussi fabriqué et installer un support d'écran LCD permettant de protéger cet écran très fragile, tout en ayant la possibilité d'orienter l'écran comme on le voulait.

Instrumentation Eagle Tree :
Le but était d'installer un module intelligent que nous pouvons paramétrer comme nous le voulons. Ce module sert de cerveau, récupérant toute les informations intéressantes tel qu'un module annexe



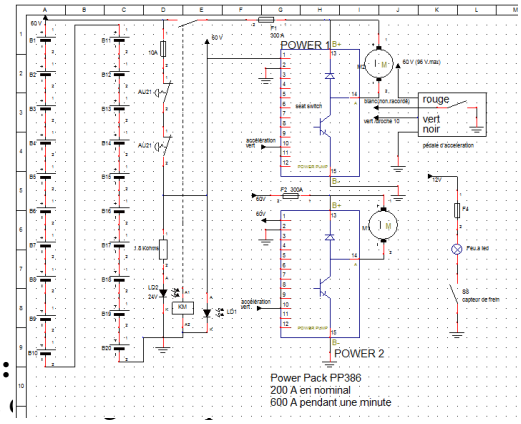
Support alu pour batterie :
Afin de pouvoir fixer nos nouvelles sacoches de batterie, il nous a fallu fabriquer et monter des supports en aluminium résistants sur mesure afin de protéger et supporter le poids des différentes batteries

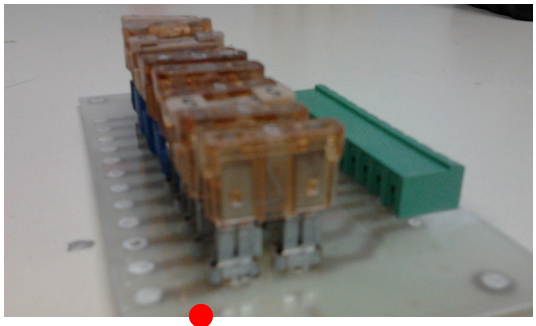
Sacoche pour batterie :
Nous avons eu l'idée d'abaisser le centre de gravité du trike. En effet les batteries initialement en hauteur et derrière le véhicule, provoquait un centre de gravité haut. C'est pourquoi le fait de rabaisser le centre de gravité était intéressant notamment pour une tenue de route meilleure

9.Amélioration du karting :

Tous d'abord nous avons câblé le karting appartenant aux génies mécaniques de St Quentin (GMP) qui travaillent en collaboration avec nous.

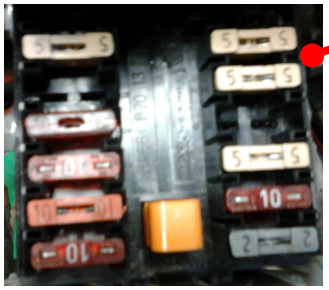
Schéma électrique du karting de St Quentin





Equilibreur avec fusible :
Le but de l'équilibreur est d
indépendamment. Cette année lorsque nous sommes arrivées sur ce projet, des équilibreurs étaient déjà installées. Nous avons cependant améliorant le système en incorporant les fusible sur cette carte afin de facilité la maintenance électrique de ce système. Nous avons donc fait l'étude sur ares d'un nouveau typon puis réaliser en réel ces cartes

Refroidisseur pour moteur :
Nous avons installé ces refroidisseurs de haute puissance (30A pour 10V soit 300Watts) afin de refroidir le plus vite possible nos moteurs. Notamment aux challenges e-kart ou nous essaierons de conserver nos moteurs à une température la plus faible possible lors de petite vitesse ou dans les stands. Afin de donner un rendement optimal lors de la véritable course.



Boite à fusible :
Cette boite a été réalisée afin de faciliter les opérations de maintenance sur le karting. En effet grâce aux rassemblements des différents fusibles, nous pouvons contrôler et changer très rapidement les fusibles défectueux. Ceci sont également annoté afin de rendre plus compréhensible leur but.

Feux arrière :
Paramétrage d'un feu arrières intelligent. Capable d'afficher des symboles ou même d'écrire des messages. Le feu est composé d'une matrice de 11*11 leds.

10. Conclusion

Nous avons réalisé en premier l'étude théorique sur la dynamique de nos différents véhicules. Cette partie nous a permis de consolider nos bases sur les véhicules électriques étant donné que ces derniers sont à puissance constante et non à force constante, ce qui donne des équations différentiels non linéaire. Ces dernières ne sont pas resolvables.

Secondement, nous avons adapté le cycle analyst afin de pouvoir y brancher notre datalogger. En effet, la prise jack qui permet de recevoir les données n'était pas installée sur le cycle analyst, cependant la possibilité d'en brancher une était présente.
C'est pourquoi nous avons donc dû adapter le cycle analyst pour permettre d'enregistrer les données sur le datalogger.
Une fois ce dernier câblé, nous avons pu commencer à apprendre à utiliser le datalogger et enfin tracer les courbes de la dynamique du véhicule.

Troisièmement, après avoir appris à maitriser le datalogger, il nous a fallu comprendre les informations qu'il enregistre. Nous avons donc pu grâce à cela commencer à tester nos véhicules et à enregistrer leurs données. Et surtout importer ces données sur un ordinateur.
.

Quatrièmement, nous a fallu exploiter toutes ces données. Cependant, l'exploitation de données n'est pas une chose facile. Nous avons passé une journée entière pour obtenir la courbe de la puissance en fonction de la vitesse sur le karting..
Pour finir, après plusieurs tests et plusieurs améliorations, nous avons écrit un mode d'emploi pour transmettre aux personnes qui seraient intéressé de connaitre la dynamique de leurs véhicules électriques.
Nous avons également traduit ce mode d'emploi en version anglaise pour le mettre sur le forum e-bike.com car il n'en existait pas.

La promotion du département GEII peut être vu sur les sites web suivant :

Here are our vehicles
http://www.evalbum.com/4307 => (karting 56 KW)
http://www.evalbum.com/4311 => (catrike 3 KW)
http://www.evalbum.com/4310 => (karting moteur asynchrone 14 KW)
http://www.evalbum.com/4302 => (vélo couché 3 KW)
http://www.evalbum.com/3116 => moto électrique 14 kW of sebastien mahut
Here is our website, but in French http://aisne02geii.e-kart.fr/

11. Remerciements

Nous remercions également Pascal Husson, le directeur de la piste de karting de Bucy Le Long. Il nous a permis de faire nos essais avec notre karting sur sa piste.

Pour finir, nous remercions l'éco-marathon belge. Un challenge qui nous a permis de tester nos vélos électrique en termes d'autonomie.

12. Annexe

Tutorial Excel : (anglais)

Tutorial du soft of cycle analyst

Pour mettre sur un forum e-bike.ca, nous avons traduit le tutorial précédent en anglais :
Voici la version anglaise du tutorial précédent :

IUT electrical engineering de Soissons (Arnaud sivert http://aisne02geii.e-kart.fr/) 17/10/2012

You can download the Excel file :
In the website http://www.e-kart.fr/, in members choose **02A - L'IUT de l'Aisne GEII Soissons** and in DDL (loader choose tutorial datalogger)

This datalogger allows to save (A.H, Volt, Ampere, speed, distance) therefore know the dynamics of your vehicle. It saves this data in a text file. With this datas, it's possible to have a power, accelerations, the consumption in Watt/H...

Dynamics can know a possibility of boost of vehicle therefore to know if you can pass easily a crossroad, if you can pass in all security and compare 2 vehicle without do start stop fo 400m side by side of acceleration. Acceleration essentially depends on the driving force, resistant forces, the mass of the vehicle control (with and without sensor on the motor).

There is many software which allow to plot the curves and know the dynamics of your vehicle. You can quote for example (mathcad, matlab, labview…)
We will simply use the spreadsheet Excel because everybody have this software (see figure 13.1). But, curves are not beautiful.

Task to be done to trace the curve:

- Data/ from a text file / choose your file and import. (or make a copy and paste)
- Excel work with commas and no points. So select the data (ctrl+h) and replace points by commas.
- There is no time, but each sample is given by the cycle analyst (sampler).

If sampler is 1Hz, so each sample is 1 second.
If sampler is 5Hz, so each sample is 0.2 second.

- A time column is created with the following formula =(LIGNE(B2)-2)/($H$2). There has to copy and paste each line.
- If you forget to reset the cycle analyst and if you want to check your sampler, Column consumption may be equal to the following formulas : =A2-$A$2 or =((C2/$H$2)/3600)+j1

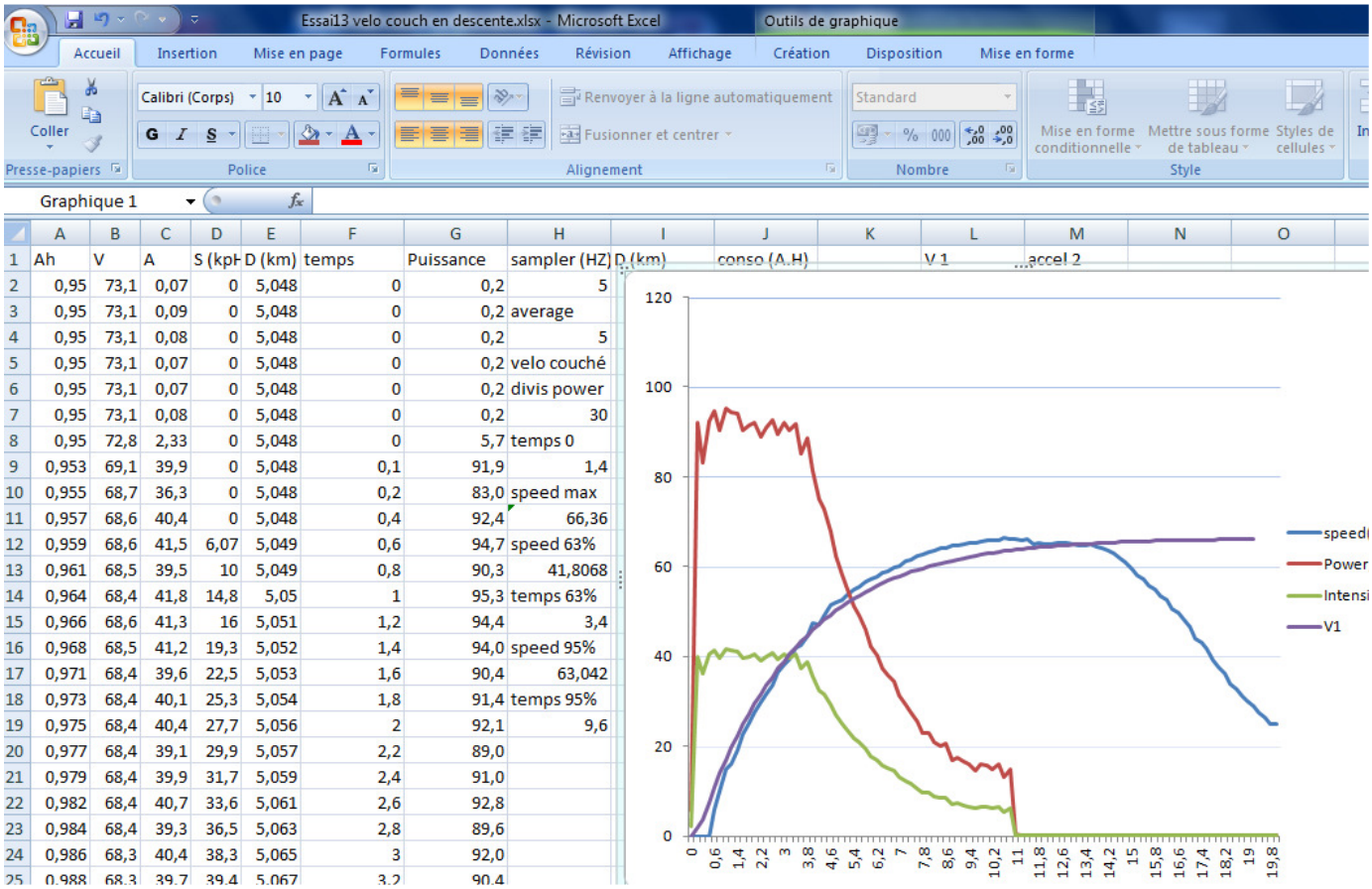


Fig 12.1 : data acceleration of a vehicle

- To make the curve click on "insert graphical 2D line"
- Right click the mouse on the graph, "select data" (see Figure 12.2)
- To add a curve, give it a name and select the column to display as for the speed of Figure 12.3
- As the inverter is in constant power, it is interesting to trace the power and speed versus time. But the power is not supplied by the cycle data analyst. But it is possible to know with the following formula =(B2*C2)/20. The starting power is 2000W=50V*40A. We have chosen to divide by 20 to get a relative value of 100%.

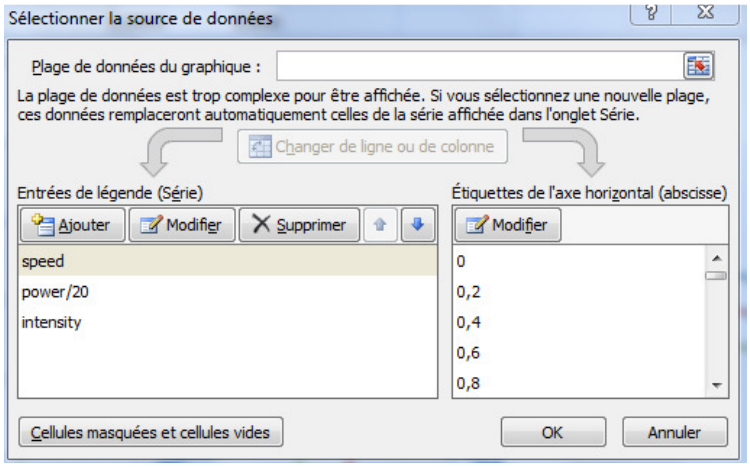


Fig 12.2 : file curves

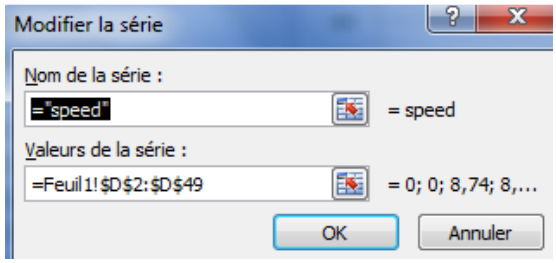


Fig 12.2 : Add or edit the series to display.

With the capture tool, it is possible to display only the curve in your file.
Normally in automatic, The response time is the time a system of up to 95% of its steady state and the rise time of between 10% and 90% of the steady state. But, in automatic, there is a compromise between stability and speed.
For a vehicle, the acceleration can be considered when the dimmer to impose his power and not when the resistive power as can be seen in the following figure.
In this case without pedaling on the flat. it takes 4 seconds to power down. For these 4 seconds, the speed with 47 km / h and 10 seconds to reach 66 km / h .

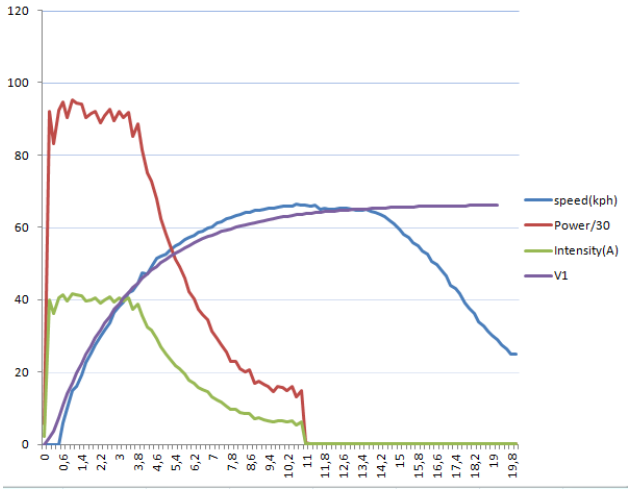


Fig 12.4 speed, acceleration and power as a function of time with 100% of the throttle of the tricycle (30 kg of bicycle and 80 kg of rider

In Figure 4, there is a slight delay in speed measurement because it was not until the turn of a wheel for a speed measurement Although the differential equation is not linear. Can be identified as the speed of a first-order time constant corresponding to the time 3.4s plan final 63%. V1 is the curve in Figure 12.4

- The acceleration can be given by the difference of the speed versus time (Figure 12.1).

There are several methods to determine the easier acceleration:
Naive methods (Euler) =(D3-D2)*$H$2
Central difference method =(D4-(2*D3)+D2)*$H$2*$H$2
Do not use average filtering for acceleration.

After having studied the acceleration, it is interesting to know the power vs. speed

To make conclusion of the dynamic characteristics of a vehicle, the following table may be given:

type	Temps à 63% (1)	Temps à 95% (2)	Vitesse max (3)	$t_{power\ cst}$ (4)	t_{arret} libre(5)	t_{arret} mini (6)	D_{Arret} Mini (7)	t_{Arret} à 45km/h(8)	D_{Arret} à 45km/h (9)
Velo couché	3.4 s	9.6 s	66 km/h	3.8	60s	4.2s	46m	3.4s	21m

(11) Time for the speed reaches 63% of the final value
(12) Time for the speed reaches 95% of the final value
(13) Speed maximum
(14) Power time maximum
(15) Time to the vehicle stops coasting
(16) Minimal downtime from the maximum speed with the braking
(17) Stopping distance from the maximum speed with the braking
(18) Stopping time from the 45 km/h speed with the braking
(19) Stopping distance from the 45 km/h speed with the braking